نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۴، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۹، ص. ۵۷۶-۵۶۳
شاپا: ۴۷۳۰ - ۲۰۰۸

Journal of Horticultural Science
Vol. 34, No.4, Winter 2021, P. 563-576
ISSN: 2008 - 4730

مقاله علمی-پژوهشی

اثر نیتروژن و گوگرد همراه با باکتری تیوباسیلوس بر عملکرد و محتوای نیترات سیر و فراهمی برخی عناصر غذایی در خاک

محسن سیلسپور[۱*]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۳/۰۸
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۴/۲۳

چکیده

طی یک آزمایش مزرعه‌ای دو ساله، اثرات کاربرد سطوح مختلف نیتروژن از منبع اوره (صفر، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار) و گوگرد از منبع ساری‌کود (صفر، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار) در یک خاک آهکی، بر خصوصیات کمی و کیفی سیر رقم 'همدان' و برخی خصوصیات شیمیایی خاک مطالعه شد. اثر نیتروژن و اثر گوگرد بر عملکرد، تعداد سیرچه در سیر، وزن تک بوته، وزن سیرچه، ارتفاع بوته و سطح برگ معنی‌دار بود و موجب ارتقای این صفات گردید. مصرف ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد عملکرد سیر را ۳۱ درصد نسبت به شاهد افزایش داد. مصرف نیتروژن نیز تا سقف ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار موجب افزایش عملکرد سیر به میزان ۵۸ درصد نسبت به شاهد شد. بیشترین عملکرد اقتصادی سیر از تیمار مصرف ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن به دست آمد که نسبت به تیمار شاهد، ۱۰۴ درصد افزایش عملکرد داشت. کاربرد ۱۰۰۰ کیلوگرم گوگرد موجب کاهش واکنش خاک نسبت به تیمار شاهد گردید و موجب افزایش غلظت آهن برگ به میزان ۸۸ درصد در مقایسه با تیمار شاهد و افزایش غلظت روی برگ به میزان ۱۱۰ درصد در مقایسه با تیمار شاهد گردید. محتوای نیترات سیر با کاربرد گوگرد کاهش و با کاربرد نیتروژن افزایش معنی‌دار یافت. کاربرد گوگرد به میزان ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار محتوای نیترات سیر را ۳۵ درصد نسبت به شاهد بطور معنی‌داری کاهش داد. بر اساس نتایج به دست آمده از این پژوهش، برای دست‌یابی به حداکثر تولید سیر با محتوای نیترات قابل قبول، مصرف ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن +۱۰۰۰ کیلوگرم گوگرد همراه با باکتری تیوباسیلوس توصیه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: آهن خاک، سیر، گوگرد، نیترات، نیتروژن

مقدمه

سیر (*Allium sativum* L.) بعد از پیاز، دومین و پرمصرف‌ترین گیاه از جنس آلیوم است. این گیاه اثرات قابل توجهی در کاهش فشار خون، پیش‌گیری از تصلب شرایین، کاهش کلسترول خون و تری گلیسرید و مهار تجمع پلاکتی خون دارد (۳۵). در سالیان اخیر، افزایش عملکرد این محصول با رعایت حفظ خصوصیات کیفی از جمله بیشینه محتوای نیترات، همواره مورد توجه تولید کنندگان این محصول با ارزش بوده است. مشخص شده است که قابلیت جذب عناصر غذایی در خاک، عملکرد و اجزای عملکرد گیاه را تحت تاثیر قرار می‌دهد (۵۵). در این راستا، تامین به موقع و مکفی عناصر غذایی از جمله گوگرد و نیتروژن نقش ویژه‌ای در ارتقای خصوصیات کمی و کیفی سیر دارد. قابلیت جذب عناصر غذایی در خاک نیز به عوامل مختلفی از جمله واکنش خاک بستگی دارد (۹). در خاک‌های آهکی که قسمت اعظم خاک‌های کشور را شامل می‌شود، تولید محصولات کشاورزی با مشکلات عدیده‌ای روبروست که عمدتا ناشی از بالا بودن واکنش و پایین بودن ماده آلی خاک می‌باشد. در این خاک‌ها قابلیت جذب فسفر و اکثریت عناصر کم‌مصرف بسیار کم می‌باشد و تغذیه متعادل گیاه با دشواری مواجه است. جدای از کاهش عملکرد محصولات کشاورزی در اثر کمبود عناصر غذایی در خاک‌های آهکی، محصولات کشاورزی تولیدی در چنین خاک‌هایی، دچار کمبود محتوای عناصر غذایی مورد نیاز مصرف‌کننده بوده و موجب سوء تغذیه می‌شوند (۳۷). در چنین خاک‌هایی، یکی از روش‌های غلبه بر این مشکل در راستای افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی و کاهش واکنش خاک، افزودن اصلاح‌کننده‌های اسیدزا مثل گوگرد است (۲۸). گوگرد پس از عناصر پرمصرف نیتروژن، فسفر و پتاسیم، چهارمین

۱- استادیار پژوهشی بخش تحقیقات کشت گلخانه‌ای، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان تهران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ورامین، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: mseilsep@yahoo.com)
DOI: 10.22067/jhorts4.v34i4.80398

عنصر عمده مورد نیاز اکثر گیاهان زراعی می‌باشد. این عنصر جزء تشکیل‌دهنده اسیدهای آمینه سیستئین، متیونین و بخشی از پروتئین‌ها است که نقش مهمی را در ساخت ویتامین‌ها در سلول‌های گیاهی ایفا می‌کند (۴۱) و موجب افزایش کارایی نیتروژن می‌گردد (۱۸). این عنصر نقش منحصر به فردی در ارتقای خصوصیات کمی و کیفی سیر دارد، به گونه‌ای که ۸۰ درصد گوگرد جذب شده در ساخت ترکیبات گوگرددار مثل اسید آمینه‌های سیستئین، متیونین، پروتئین‌ها و آلینین به کار برده می‌شود (۴۳). نتایج مطالعات نشان داده است که عملکرد سیر در اثر مصرف گوگرد در خاک‌های آهکی مناطق خشک افزایش یافته است (۳۵) و این موضوع بـه کاهش واکنش خاک و افزایش جذب عناصر غذایی از جمله فسفر و عناصر کم‌مصرف، نسبت داده می‌شود (۵). کاهش واکنش خاک در اثر مصرف گوگرد بـه اکسیداسیون بیولوژیک این ماده و تولید اسید سولفوریک باز می‌گردد (۵۴). اسیدی کردن خاک از طریق مصرف گوگرد موجب افزایش جذب عناصر غذایی کم‌مصرف و ارتقای کیفیت آنها در خاک‌های آهکی می‌گردد (۱۰ و ۳۷).

افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی کم‌مصرف با کاربرد گوگرد توسط سایر محققین نیز گزارش شده است (۳۲، ۴۷ و ۵۲). نیتروژن نیز در تغذیه گیاه یک عنصر بسیار مهم بوده و نقش‌های متعددی در گیاه ایفا می‌کند. نیتروژن برای سنتز آمینواسیدها که اجزای تشکیل‌دهنده پروتئین‌ها هستند لازم است، این اسید آمینه‌ها در تشکیل پروتوپلاسم و تقسیم سلولی و رشد گیاه به‌کار می‌روند. اگر نیتروژن در دسترس گیاه کم باشد، گیاه قادر به ساختن پروتئین برای فرآیندهای متابولیسمی، ساختاری و نگهداری سطح مطلوب رشد نخواهد بود (۷). این عنصر در اعمال حیاتی گیاه مانند فتوسنتز و واکنش‌های آنزیمی نقش محوری بازی کرده و از اجزاء تشکیل‌دهنده چندین ویتامین ضروری مانند بیوتین، نیاسین، تیامین و ریبوفلاوین و بخشی از اسیدهای نوکلئیک، کلروفیل و آلکالوئیدها است (۷ و ۲۳). همچنین این عنصر در ساخت کربوهیدرات‌ها و ترکیبات فنلی نقش مستقیم دارد (۲۶). گیاه سیر در یک دوره رشد نیاز به حدود ۱۳۰ کیلوگرم نیتروژن دارد (۲۲ و ۵۶). طی یک تحقیق، اثر سطوح مختلف نیتروژن (۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) بر عملکرد و سایر خصوصیات کمی سیر بررسی شد و مشخص گردید که بیشترین ارتفاع بوته، تعداد برگ در بوته، وزن سیرچه، تعداد سیرچه در سوخ و قطر سوخ مربوط به تیمار مصرف ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن بوده است (۱۷). طی پژوهشی دیگری، اثر سطوح مختلف نیتروژن (صفر، ۷۵ و۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص) و گوگرد همراه مایه‌تلقیح تیوباسیلوس (صفر، ۶ و ۱۲ تن در هکتار) بر عملکرد سیر بررسی شد. مصرف گوگرد همراه تیوباسیلوس، عملکرد سیر را از ۸۴۱۰ به ۹۰۶۰ کیلوگرم در هکتار افزایش معنی‌دار داد. بیشترین عملکرد معنی‌دار سیر نیز از مصرف ۷۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص در هکتار به‌دست آمد. کاربرد نیتروژن باعث افزایش معنی‌دار شاخص کلروفیل برگ و غلظت عناصر منگنز، آهن و فسفر در سیر گردید. اثر متقابل نیتروژن و گوگرد بر عملکرد سیر معنی‌دار بود و بیش‌ترین میزان عملکرد از مصرف ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن و شش تن گوگرد در هکتار به‌دست آمد (۳۶). طی پژوهشی دیگر، اثر مقادیر مختلف نیتروژن خالص (۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰، ۲۵۰ و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار) بر تعداد، طول برگ و عملکرد و اجزای عملکرد سیر توده همدان بررسی شد. با افزایش میزان کود تا سطح ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار، عملکرد و سایر صفات کمی افزایش و پس از آن کاهش یافت (۴۵). تاکنون در داخل کشور تحقیق جامعی در خصوص مطالعه کاربرد توام نیتروژن و گوگرد در زراعت سیر انجام نشده است. از آنجایی که بخش عمده خاک‌های کشور، بـه ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک آهکی هستند و دارای pH قلیایی (وجود حدود ۲۰ درصد آهک در خاک های منطقه شهرستان ورامین) و لزوم کاهش pH خاک (حتی در ناحیه ریشه‌سپهر) در راستای افزایش جذب عناصر غذایی در این خاک‌ها و از طرف دیگر کمبود ماده آلی خاک و منتج آن، کمبود نیتروژن خاک، این تحقیق در راستای مطالعه اثر مقادیر مختلف گوگرد و نیتروژن بر عملکرد و محتوای نیترات سیر و فراهمی برخی عناصر غذایی در خاک انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

به‌منظور مطالعه اثر مصرف نیتروژن و گوگرد بر خصوصیات کمی و کیفی سیر، این پژوهش با ۱۲ تیمار و ۳ تکرار در قالب طرح آماری کرت‌های خرد شده طی دو سال زراعی (۹۵-۱۳۹۴) در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان تهران واقع در شهرستان ورامین به مرحله اجرا در آمد. عامل نیتروژن در چهار سطح (صفر، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار) و عامل گوگرد در سه سطح (صفر، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار همراه با مایه تلقیح تیوباسیلوس) در نظر گرفته شد. قبل از کاشت از خاک محل اجرای آزمایش نمونه‌برداری به عمل آمد و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک شامل بافت، واکنش، کربن آلی، آهک، میزان عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم و عناصر کم‌مصرف آهن، منگنز، مس، روی و بور با استفاده از روش‌های رایج موسسه تحقیقات خاک و آب اندازه‌گیری گردید (۴) (جدول ۱). بر اساس نتایج آزمون خاک، ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار فسفر (P_2O_5) توصیه شد. کودهای پایه شامل نصف نیتروژن بر مبنای تیمارهای مختلف آزمایش از منبع اوره و تمام فسفر توصیه شده بر اساس آزمون خاک از منبع سوپرفسفات تریپل بـه صورت یکنواخت در کلیه تیمارها مصرف شد. باقیمانده نیتروژن (با توجه به تیمارها)، هنگامی که بوته‌ها به ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر رسیدند مصرف شد. گوگرد نیز از منبع ساری‌کود تماماً قبل از کاشت مصرف و با

خاک مخلوط شد. از مایه تلقیح تیوباسیلوس ساخت شرکت فرآوری شیمیایی زنجان به نسبت دو درصد وزنی برای اضافه کردن به گوگرد استفاده شد. هر کرت آزمایش شامل چهار خط کاشت به طول چهار متر و فاصله خطوط ۵۰ سانتی‌متر و فاصله روی ردیف ۱۰ سانتی‌متر بود. سیستم آبیاری نیز به صورت ثقلی (فارویی) در نظر گرفته شد. عملیات کاشت در آبان ۱۳۹۵ انجام شد و برداشت در خرداد سال بعد صورت پذیرفت. پس از اتمام آزمایش، از خاک محل آزمایش به تفکیک تیمار و تکرار نمونه‌برداری مرکب به عمل آمد و مورد تجزیه شیمیایی قرار گرفت. محصول سیر کرت‌های آزمایشی برداشت و عملکرد خشک، تعداد سیرچه در سیر، وزن تک بوته، وزن سیرچه، ارتفاع گیاه، تعداد برگ در بوته و سطح برگ اندازه‌گیری و ثبت گردید. محتوای نیترات سیر نیز با روش‌های رایج موسسه تحقیقات خاک و آب اندازه گیری گردید (۴). داده‌های به‌دست آمده از آزمایش با استفاده از آزمون F و نرم‌افزار SAS تجزیه واریانس گردید. میانگین صفات مورد بررسی نیز با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن گروه بندی شدند.

جدول ۱- مشخصات خاک محل آزمایش قبل از اجرای آزمایش

Table 1- Physical and chemical characteristics of the soil in the experimental site before the experiment

سال Year	هدایت الکتریکی EC (dS m^{-1})	درصد اشباع SP (%)	واکنش pH	مواد خنثی شونده TNV (%)	نیتروژن N (%)	کربن آلی OC (%)	فسفر قابل جذب Ava.P (mg kg^{-1})	پتاسیم قابل جذب Ava.K (mg kg^{-1})	آهن قابل جذب Ava.Fe (mg kg^{-1})	منگنز قابل جذب Ava.Mn (mg kg^{-1})	روی قابل جذب Ava.Zn (mg kg^{-1})	مس قابل جذب Ava.Cu (mg kg^{-1})	بور قابل جذب Ava.B (mg kg^{-1})
1	2.9	40	7.5	15.9	0.03	0.31	6.8	419	3.4	9.3	1.0	1.5	0.6
2	2.3	38	7.6	14.0	0.04	0.41	8.0	380	4.2	12.0	1.2	1.6	0.5

SP (Saturated Percentage)., TNV (Total Neutralized Value)., EC (Electrical Conductivity)., OC (Organic Carbon)

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌های آزمایش در خصوص عملکرد، اجزای عملکرد، ارتفاع گیاه و محتوای نیترات سیر طی دو سال در جدول ۲ و اثر متقابل نیتروژن و گوگرد بر عملکرد، اجزای عملکرد، ارتفاع گیاه و محتوای نیترات سیر در جدول ۳ درج شده است. نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌های آزمایش نشان داد که اثر نیتروژن و اثر گوگرد بر عملکرد سیر، تعداد سیرچه در سیر، وزن تک بوته سیر، وزن سیرچه، ارتفاع بوته، سطح برگ و نیترات سیرچه معنی‌دار است. هم‌چنین اثر متقابل نیتروژن و گوگرد بر عملکرد سیر، نیترات سیر و ارتفاع بوته معنی‌دار بود (جدول ۲).

عملکرد و اجزای عملکرد سیر

اثرات ساده گوگرد و نیتروژن و اثر متقابل این دو عنصر، بر عملکرد سیر معنی‌دار بود (جدول ۲). مصرف ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد عملکرد سیر را ۳۱ درصد نسبت به شاهد (۹۶۰۲ کیلوگرم در هکتار) افزایش داد. مصرف نیتروژن نیز تا سقف ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار موجب افزایش عملکرد سیر به میزان ۵۸ درصد نسبت به شاهد (۸۰۸۴ کیلوگرم در هکتار) شد. بیشترین عملکرد اقتصادی سیر از تیمار مصرف ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن به‌دست آمد که نسبت به تیمار شاهد (۷۱۴۸ کیلوگرم در هکتار)، ۱۰۴ درصد افزایش عملکرد داشت. تعداد سیرچه در سیر تحت تاثیر مصرف گوگرد قرار نگرفت، اما این صفت تحت تاثیر نیتروژن تا سطح مصرف ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار افزایش یافت. اثر گوگرد و اثر نیتروژن بر وزن تک بوته سیر معنی‌دار بود (جدول ۲). مصرف گوگرد به میزان ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار موجب افزایش ۴۱ درصدی وزن تک بوته سیر در مقایسه با شاهد (۶۶ گرم) گردید. مصرف نیتروژن نیز تا سقف ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار موجب افزایش وزن تک بوته سیر به میزان ۶۹ درصد نسبت به شاهد (۵۵ گرم) شد. وزن سیرچه نیز تحت تاثیر گوگرد و نیتروژن افزایش معنی‌دار یافت، به گونه‌ای که کاربرد ۱۰۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار وزن سیرچه را ۵۹ درصد نسبت به شاهد (۷/۱ گرم) افزایش داد. هم‌چنین، مصرف نیتروژن نیز تا سقف ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار موجب افزایش وزن سیرچه به میزان ۲۵ درصد نسبت به شاهد (۷/۶ گرم) شد. نتایج به‌دست آمده از این پژوهش با نتایج سایر پژوهشگران مبنی بر افزایش رشد و عملکرد سیر با کاربرد نیتروژن بود (۳۱). طی مطالعه‌ای در خصوص کاربرد مقادیر مختلف نیتروژن بر خصوصیات ارقام سیر همدان و ویولت، بیشترین عملکرد سیر، ارتفاع بوته، تعداد برگ در بوته و تعداد سیرچه در سیر از تیمار مصرف ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن به دست آمد. مقادیر بیشتر نیتروژن تاثیر معنی‌داری بر این خصوصیات نداشت (۱۳). سایر پژوهش‌های صورت گرفته نیز موید افزایش عملکرد سیر، افزایش تعداد سیرچه در سیر، افزایش میانگین وزن سیرچه و افزایش ارتفاع گیاه در اثر مصرف ۱۸۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بوده است (۱۵). نتایج تحقیقات موید این مطلب است که تعداد

سیرچه در سیر و اندازه سیرچه با مصرف نیتروژن افزایش می یابد (۲۶ و ۳۱). افزایش رشد و عملکرد سیر به نقش اصلی نیتروژن در افزایش فعالیت های مریستمیک، تقسیم سلول و طویل شدن سلول باز می گردد (۳۱ و ۴۴). گوگرد یکی از عناصر غذایی مورد نیاز گیاه است و بدون گوگرد، گیاه به رشد و عملکرد مناسب نمی‌رسد (۱۴ و ۱۶). نتایج مطالعات صورت‌گرفته حاکی از افزایش عملکرد سیر با کاربرد گوگرد می‌باشد (۲۱). گوگرد چهارمین عنصر ضروری پس از نیتروژن، پتاسیم و فسفر برای سیر است. این عنصر در ساخت اسیدهای آمینه، مثل متیونین و سیستئین که برای ساخت ویتامین A ضروری هستند، و فعال کردن برخی آنزیم‌های گیاهی، مورد نیاز است (۳۴). نتایج مطالعات نشان می‌دهد که آمینواسیدهایی که گوگرد نقش موثری در ساخت آنها دارد، به صورت مستقیم یا غیرمستقیم، فعالیت‌های فیزیولوژیک گیاه را تحت تاثیر قرار می‌دهند و نقش مثبتی بر رشد، افزایش عملکرد و افزایش تحمل گیاه به تنش‌های محیطی ایفا می کنند (۳۴). از طرف دیگر، اکسیداسیون گوگرد موجب افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی از جمله فسفر می‌گردد که موجب رشد بهتر گیاه در خاک‌های آهکی می‌گردد (۳۹، ۴۸، ۴۹ و ۵۰).

ارتفاع گیاه

اثر گوگرد و اثر نیتروژن و اثر متقابل گوگرد و نیتروژن بر ارتفاع بوته سیر معنی‌دار بود (جدول ۲). مصرف ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد ارتفاع بوته سیر را ۳۷ درصد نسبت به شاهد (۴۳ سانتی‌متر) افزایش داد. مصرف نیتروژن نیز تا سقف ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار موجب افزایش ارتفاع بوته سیر به میزان ۲۵ درصد نسبت به شاهد (۴۳ سانتی‌متر) شد. بیشترین ارتفاع بوته سیر از تیمار مصرف ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن به‌دست آمد که نسبت به تیمار شاهد (۳۳ سانتی‌متر)، ۸۸ درصد افزایش ارتفاع داشت (جدول ۳).

نتایج به‌دست آمده از این پژوهش با نتایج به‌دست آمده توسط سایر پژوهشگران مطابقت داشت. طی یک تحقیق، مصرف نیتروژن تا سطح ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار موجب افزایش ارتفاع بوته سیر گردید (۴۲). نتایج پژوهش سایر محققان نیز موید افزایش ارتفاع سیر با کاربرد نیتروژن بوده است (۲، ۱۸، ۱۹ و ۲۹). افزایش ارتفاع بوته سیر با کاربرد نیتروژن به نقش اصلی این عنصر در افزایش فعالیت‌های مریستمیک، تقسیم و طویل شدن سلول‌ها باز می‌گردد (۳۱ و ۴۴).

جدول ۲- خلاصه جدول تجزیه واریانس مرکب عملکرد، اجزای عملکرد، ارتفاع گیاه و محتوای نیترات سیر

Table 2- Summary of the analysis of variance of garlic yield, yield components and plant height

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی D.F	عملکرد سیر Cloves yield	سیرچه در سیر Bulbs in cloves	وزن تک بوته Cloves weight	وزن سیرچه Bulb weight	ارتفاع بوته Plant height	سطح برگ Leaf aria
سال Year	1	53029551 ns	114 ns	29924 ns	35 ns	112 ns	0.76ns
سال ×تکرار Year×Replication	4	563146 ns	2.8 ns	488 ns	12 ns	137 ns	0.0ns
گوگرد Sulfur	2	54480262**	10.6 ns	4637*	112*	1659**	0.11**
سال ×گوگرد Year×Sulfur	2	578860 ns	0.01 ns	1241 ns	9 ns	1.3 ns	0.0ns
اشتباه Error	8	1700220 ns	4.1 ns	590 ns	15 ns	3.8 ns	0.0 ns
نیتروژن Nitrogen	3	90631960**	346**	6144**	14**	547**	0.06**
سال ×نیتروژن Year×Nitrogen	3	424760 ns	0.9 ns	854 ns	2.6 ns	0.4 ns	0.0ns
نیتروژن×گوگرد Nitrogen×Sulfur	6	799773*	0.1 ns	367 ns	3.6 ns	27**	0.0ns
سال ×گوگرد ×نیتروژن Year×Nitrogen×Sulfur	6	44686 ns	0.01 ns	253 ns	2.6 ns	0.02 ns	0.0ns
اشتباه Error	36	251552	0.16	245	2.1	0.3	0.0

**، * و ns به ترتیب بیان‌گر وجود تفاوت آماری در سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و عدم وجود تفاوت آماری معنی‌دار است.

**, *, and ns: significant at 1%, 5% of probability levels and non-significant, respectively.

جدول ۳- میانگین اثرات متقابل نیتروژن × گوگرد بر عملکرد و اجزای عملکرد، ارتفاع بوته و سطح برگ سیر

Table 3- Interaction effects of nitrogen ×sulfur on yield and its components, plant height and leaf area of garlic

تیمار Treatment	عملکرد Cloves yield (kg.ha^{-1})	تعدادسیرچه در سیر Bulbs in Cloves	وزن تک بوته سیر Cloves weight (g)	وزن سیرچه Bulb weight (g)	ارتفاع گیاه Plant height (cm)	تعداد برگ در بوته Number of leaf in plant	سطح برگ Leaf area (m^{2})
گوگرد Sulfur							
S_{0}	9602c	10.0a	66c	7.1c	43c	8.6c	0.33c
S_{500}	11064b	10.3a	76b	8.0b	48b	9.7b	0.42b
S_{1000}	12651a	9.0a	93a	11.3a	59a	12.5a	0.47a
نیتروژن Nitrogen							
N_{0}	8084c	8.0c	55c	7.6 c	43c	8.3c	0.33c
N_{100}	10675b	9.3b	72b	8.6b	48b	9.8b	0.39b
N_{200}	12822a	10.8a	93a	9.5a	54a	11.4a	0.45a
N_{300}	12792a	10.6a	93a	9.5a	55a	11.6a	0.46a
گوگرد×نیتروژن Sulfur×Nitrogen							
$S_{0}N_{0}$	7148f	8a	49a	6.6 a	33j	6.7i	0.25g
$S_{0}N_{100}$	9061d	9a	62a	7.2 a	41h	8.4g	0.31f
$S_{0}N_{200}$	11069c	11a	76a	7.4 a	49f	9.6 ef	0.37de
$S_{0}N_{300}$	11129c	11a	76a	7.4 a	49f	9.9de	0.39d
$S_{500}N_{0}$	7980e	9a	54a	6.9 a	40i	7.9h	0.34ef
$S_{500}N_{100}$	10763c	10a	78a	8.3 a	46g	9.2f	0.4d
$S_{500}N_{200}$	12848b	11a	88a	8.5a	52e	10.8c	0.46c
$S_{500}N_{300}$	12655b	11a	87a	8.4 a	53d	10.8c	0.47 bc
$S_{1000}N_{0}$	9125d	7a	61a	9.4a	55c	10.3b	0.38de
$S_{1000}N_{100}$	12201b	9a	80a	10.2a	57b	11.7 b	0.46c
$S_{1000}N_{200}$	14550a	10a	116a	12.8 a	62a	13.9a	0.51ab
$S_{1000}N_{300}$	14583a	10a	115a	12.7 a	63a	14.1a	0.52a

اعداد با حروف انگلیسی مشابه در هر ستون با یکدیگر تفاوت آماری معنی‌داری در سطح ۵ درصد با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن ندارند.

The numbers with the same letters in each column do not have significant difference at 5% of probability level based on Duncan's multiple range test.

تعداد برگ در بوته

اثر گوگرد، اثر نیتروژن و اثر متقابل گوگرد و نیتروژن بر تعداد برگ در بوته سیر معنی‌دار بود (جدول ۳). مصرف ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد تعداد برگ در بوته سیر را ۴۵ درصد نسبت به شاهد (۸/۶ عدد برگ) افزایش داد. مصرف نیتروژن نیز تا سقف ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار موجب افزایش تعداد برگ در بوته سیر به میزان ۳۹/۷ درصد نسبت به شاهد (۸/۳ عدد برگ) شد. بیشترین تعداد برگ در بوته سیر از تیمار مصرف ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن به دست آمد که نسبت به تیمار شاهد (۶/۷ سانتی‌متر)، ۱۰۷ درصد افزایش تعداد برگ داشت (جدول ۳). نتایج تحقیقات نشان داده است که نیتروژن موجب رشد سبزینه‌ای گیاه و اندام‌های هوایی سیر می‌گردد و باعث افزایش تعداد برگ در گیاه می گردد (۱۲). افزایش تعدادبرگ در گیاه سیر در اثر مصرف نیتروژن توسط سایر محققان نیز گزارش شده است (۱۷).

سطح برگ

اثر گوگرد و اثر نیتروژن و اثر متقابل گوگرد و نیتروژن بر سطح برگ بوته سیر معنی‌دار بود (جدول ۲). مصرف ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد سطح برگ بوته سیر را ۴۲ درصد نسبت به شاهد (۰/۳۳ متر مربع برگ بر متر مربع زمین) افزایش داد. مصرف نیتروژن نیز تا سقف ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار موجب افزایش سطح برگ بوته سیر به میزان ۳۹/۳ درصد نسبت به شاهد (۰/۳۳ متر مربع برگ بر متر مربع زمین) شد. بیشترین سطح برگ بوته سیر از تیمار مصرف ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن به دست آمد که نسبت به تیمار شاهد (۰/۲۵ متر مربع برگ بر متر مربع زمین)، ۱۰۴ درصد افزایش سطح برگ داشت. افزایش سطح برگ بوته سیر به نقش مثبت نیتروژن در افزایش رشد سبزینه‌ای گیاه، افزایش فعالیت‌های مریستمیک، تقسیم سلول، طویل شدن سلول باز می‌گردد (۳۱ و ۴۴). نیتروژن یک عنصر تعیین‌کننده در تغذیه، رشد گیاه و عملکرد آن محسوب می‌شود، به طوری که میزان نیتروژن قابل

دسترس برای گیاه می‌تواند میزان پروتئین دانه، محتوای کلروفیل برگ و اندازه و حجم پروتوپلاسم سلولی را افزایش دهد و همچنین سطح برگ، فعالیت فتوسنتزی را تحت تأثیر قرار دهد (۱۱).

خلاصه جدول تجزیه واریانس مرکب عملکرد، اجزای عملکرد، ارتفاع گیاه و محتوای نیترات سیر در جدول ۴ آورده شده است. اثر گوگرد بر غلظت سولفات خاک، واکنش خاک، نیتروژن برگ، فسفر برگ، آهن وروی برگ معنی‌دار بود. هم‌چنین اثر نیتروژن بر نیترات خاک و نیتروژن برگ معنی‌دار بود. اثر گوگرد و نیتروژن بر غلظت عناصر غذایی در برگ سیر، نیترات سیر و خصوصیات شیمیایی خاک در جدول ۵ ارائه شده است.

واکنش خاک

اثر گوگرد بر واکنش خاک معنی‌دار بود (جدول ۲). واکنش خاک با مصرف گوگرد کاهش معنی‌دار یافت، به گونه‌ای که کاربرد ۱۰۰۰ کیلوگرم گوگرد موجب شد تا واکنش خاک از ۷/۴۹ به ۷/۲۶ برسد. نتایج مشابهی مبنی بر اکسیداسیون گوگرد در خاک و تولید اسید سولفوریک و نهایتا کاهش واکنش خاک توسط سایر محققین گزارش شده است (۲۰). بسیاری از محققین نیز گزارش کرده‌اند اکسیداسیون گوگرد و تولید اسید سولفوریک در خاک، باعث کاهش واکنش خاک و افزایش قابلیت جذب فسفر و عناصر کم‌مصرف می شود و باکتری تیوباسیلوس باعث تسریع این فرایند می‌شود (۳۰). اکسیداسیون گوگرد در خاک به عوامل زیادی از جمله اندازه ذرات گوگرد، رطوبت، میزان ماده آلی و جمعیت تیوباسیلوس ارتباط دارد (۶ و ۵۳). نتایج به دست آمده از کاربرد گوگرد به نسبت دو درصد وزنی در خاک‌های مصر نیز موید کاهش معنی‌دار واکنش خاک بوده است (۱۴ و ۵۸).

جدول ٤- تجزیه واریانس برخی خصوصیات شیمیایی خاک و تجزیه برگ سیر

Table 4- Summary of variance analysis table for some soil chemical properties and garlic leaf analysis

منابع تغییرات S.O.V[1]	درجه آزادی D.f[2]	سولفات خاک Soil -SO_4^{2-}	واکنش خاک pH	نیترات خاک NO_3^--soil	ازت برگ Leaf-N	فسفر برگ Leaf -P	آهن برگ Leaf-Fe	روی برگ Leaf-Zn
سال Year	1	1407^{ns}	0.18 ^{ns}	27^{ns}	1.7^{ns}	0.029^{ns}	70700 ^{ns}	930 ^{ns}
سال ×تکرار Year×Replication	4	8^{ns}	0.06^{ns}	1.8^{ns}	1.6^{ns}	0.019^{ns}	22530 ^{ns}	479 ^{ns}
گوگرد Sulfur	2	9837**	0.33*	8^{ns}	4.8*	0.256*	65631**	2771**
سال ×گوگرد Year×Sulfur	2	307 ^{ns}	0.06 ^{ns}	0.03^{ns}	0.009^{ns}	0.001^{ns}	20069 ^{ns}	324^{ns}
اشتباه Error	8	74 ^{ns}	0.06^{ns}	3 ns	0.801^{ns}	0.001^{ns}	40212 ^{ns}	122 ^{ns}
نیتروژن Nitrogen	3	21 ^{ns}	0.01^{ns}	812**	56**	0.012^{ns}	61170 ^{ns}	26^{ns}
سال ×نیتروژن Year×Nitrogen	3	3 ^{ns}	0.03^{ns}	1.8^{ns}	0.060^{ns}	0.011^{ns}	59854 ^{ns}	19 ^{ns}
نیتروژن×گوگرد Nitrogen×Sulfur	6	6 ^{ns}	0.02^{ns}	1.2**	0.080 ^{ns}	0.004^{ns}	18989 ^{ns}	5^{ns}
سال ×گوگرد ×نیتروژن Year×Nitrogen×Sulfur	6	4 ^{ns}	0.01 ^{ns}	0.01^{ns}	0.012 ^{ns}	0.001 ^{ns}	19432 ^{ns}	10 ^{ns}
اشتباه Error	36	7	0.023	0.30	0.016	0.002	32241	7

**، * و ns به ترتیب بیان‌گر وجود تفاوت آماری در سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و عدم وجود تفاوت آماری معنی‌دار است.

**, *, and ns, significant at 1%, 5% of probability levels and non-significant, respectively.

1- Source of Variation
2- Degree of freedom

جدول ۵- اثر گوگرد و نیتروژن بر غلظت عناصر غذایی در برگ سیر، نیترات سیر و خصوصیات شیمیایی خاک

Table 5- Effect of Sulfur and Nitrogen on the Concentration of nutrients elements in garlic Leaves, garlic nitrate and chemical properties of soil

تیمار Treatment	واکنش pH	سولفات خاک Soil SO_4^{2-} ($mg.kg^{-1}$)	نیترات خاک Soil NO_3^- ($mg.kg^{-1}$)	نیترات سیر Bulb NO_3^- ($mg.kg^{-1}$)	نیتروژن برگ Leaf-N (%)	فسفر برگ Leaf -P ($mg.kg^{-1}$)	آهن برگ Leaf-Fe ($mg.kg^{-1}$)	روی برگ Leaf-Zn ($mg.kg^{-1}$)
گوگرد Sulfur								
S_0	7.49a	19.2c	12.3a	197 a	2.8 c	0.33 c	108 c	19 c
S_{500}	7.40b	38.6b	13a	175 b	3 b	0.34 b	119 b	30 b
S_{1000}	7.26c	59.6 a	13.4a	146 c	3.7 a	0.54 a	204 a	40 a
نیتروژن Nitrogen								
N_0	7.39a	38.3a	5.3d	68 d	1.7 d	0.44 a	111 a	28 a
N_{100}	7.38a	38.3a	10c	134 c	2.7 c	0.43 a	116 a	30 a
N_{200}	7.37a	39.4a	15.4b	211 b	3.6 b	0.43 a	117 a	31 a
N_{300}	7.39a	40.6a	20.8a	278 a	4.6 a	0.44 a	231 a	31 a
گوگرد×نیتروژن Sulfur×Nitrogen								
S_0N_0	7.47a	19.3a	5.2a	82i	1.3a	0.34a	78a	18 c
S_0N_{100}	7.47a	18.6a	9.4a	163f	2.3a	0.32a	80a	20 c
S_0N_{200}	7.50a	19.0a	14.2a	235c	3.3a	0.32a	77a	20 c
S_0N_{300}	7.52a	19.8a	20.3a	310a	4.3a	0.34a	98a	20 c
$S_{500}N_0$	7.43a	37.6a	5.2a	65j	1.7a	0.44a	113	28 b
$S_{500}N_{100}$	7.40a	37.9a	10.1a	139g	2.5a	0.44a	121	29 b
$S_{500}N_{200}$	7.36a	39.6a	16.1a	212d	3.4a	0.44a	121	30 b
$S_{500}N_{300}$	7.40a	39.3a	20.6a	283b	4.4a	0.44a	121	31 b
$S_{1000}N_0$	7.27a	58.0a	5.6a	56k	2.2a	0.54a	141a	39 a
$S_{1000}N_{100}$	7.27a	58.3a	10.5a	100h	3.4a	0.54a	148a	40 a
$S_{1000}N_{200}$	7.23a	59.7a	16.1a	186e	4.2a	0.54a	151a	42 a
$S_{1000}N_{300}$	7.27a	62.6a	21.7a	240c	4.9a	0.54a	170a	43 a

اعداد با حروف انگلیسی مشابه در هر ستون، تفاوت آماری معنی دار در سطح ۵ درصد با هم ندارند.

The numbers in the same English letters in each column do not have a significant statistical difference at 5% level.

نتایج نشان داد که واکنش خاک تحت تاثیر گوگرد مصرفی قرار گرفت و کاهش یافت. بین صفت واکنش خاک به عنوان متغیر وابسته (Y) با گوگرد مصرفی به عنوان متغیر مستقل (X)، همبستگی منفی وجود داشت که از رابطه خطی ۱ با ضریب تبیین ۰/۹۸پیروی می‌کرد (شکل ۱).

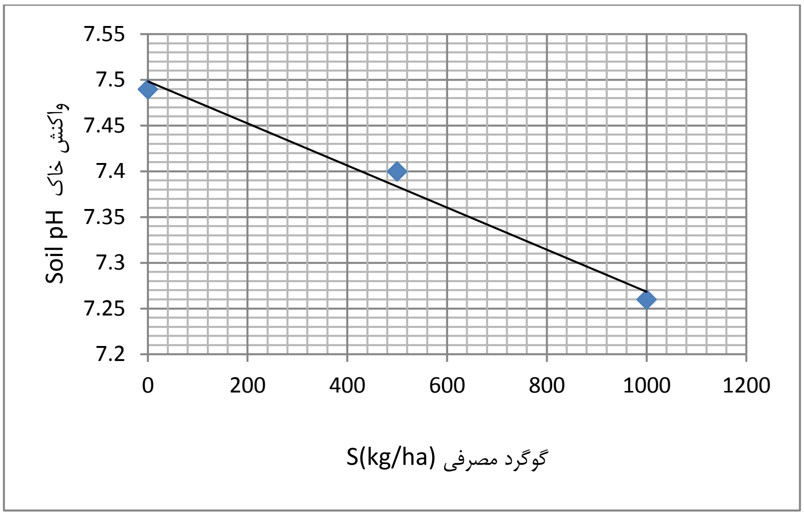
$$Y = -0.0002X + 7.498$$ رابطه ۱

نتایج مشابهی از کاربرد گوگرد عنصری بر کاهش واکنش خاک در مالزی به‌دست آمده است. در این خاک‌ها واکنش خاک با مصرف گوگرد از ۷ به ۳/۹۴ تنزل یافت. طی پژوهش دیگری، همبستگی واکنش خاک با گوگرد مصرفی از معادله خطی با شیب منفی و معادله واکنش $pH = 6.94 - 1.52\ S$ پیروی می‌کرد (۲۷ و ۲۸). نتایج مشابهی نیز توسط سایر پژوهشگران به‌دست آمده است (۱۰ و ۵۴).

سولفات خاک

اثر گوگرد بر سولفات خاک معنی‌دار بود (جدول ۲). سولفات خاک با مصرف گوگرد افزایش معنی‌دار یافت، به گونه‌ای که کاربرد ۱۰۰۰ کیلوگرم گوگرد موجب افزایش ۲۱۰ درصدی محتوای سولفات خاک نسبت به تیمار شاهد (۱۹/۲ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) گردید. بسیاری از محققین گزارش کرده‌اند که مصرف گوگرد و تولید اسید سولفوریک در نتیجهٔ اکسایش آن، باعث کاهش واکنش خاک و تامین سولفات مورد نیاز گیاهان می‌گردد (اخوان و همکاران، ۱۳۹۱). نتایج مشابهی مبنی بر افزایش غلظت سولفات خاک در اثر کاربرد گوگرد عنصری در خاک های کشور مصر گزارش شده است. با اضافه کردن گوگرد عنصری به میزان دو درصد وزنی ، غلظت سولفات خاک ۵۲ درصد افزایش داشته است (۱۴). نتایج مشابهی نیز در این خصوص توسط سایر پژوهشگران به‌دست آمده است (۵۸).

نتایج نشان داد که اثر نیتروژن بر محتوای نیترات خاک معنی‌دار بود (جدول ۲). محتوای نیترات خاک با مصرف نیتروژن افزایش معنی‌دار یافت، به گونه‌ای که کاربرد ۳۰۰ کیلوگرم گوگرد موجب افزایش ۲۹۲ درصدی محتوای نیترات خاک نسبت به تیمار شاهد (۵/۳ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) گردید.



شکل ۱- همبستگی واکنش خاک با گوگرد مصرفی
Figure 1- Correlation of soil pH with consumed sulfur

محتوای نیترات سیر

اثر ساده نیتروژن و گوگرد و اثر متقابل این دو عنصر بر محتوای نیترات سیر معنی‌دار بود (جدول ۲). محتوای نیترات سیر با کاربرد گوگرد کاهش و با کاربرد نیتروژن افزایش معنی‌دار یافت (جدول۵). کاربرد گوگرد به میزان ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار محتوای نیترات سیر را ۳۵ درصد نسبت به شاهد (۱۹۷ میلی‌گرم در کیلوگرم) کاهش معنی‌دار داد. ولی کاربرد ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، محتوای نیترات سیر را به ترتیب ۹۷، ۲۱۰ و ۳۰۸ درصد نسبت به شاهد (۶۸ میلی‌گرم در کیلوگرم) افزایش داد. در تمامی سطوح مصرف نیتروژن، گوگرد موجب کاهش محتوای نیترات سیر گردید. بعضی از سبزیجات مانند سیر و پیاز، پاسخ های مثبتی به کودهای نیتروژنی داشته و می‌توانند مقادیر زیادی نیترات را در خود انباشته نمایند (۵۱). میزان نیترات تابع عواملی مانند تکرار کشت، وضعیت آب و هوایی، کیفیت خاک، فرآیندهای تولید مواد غذایی، نوع و مقدار کود شیمیایی مصرفی و وضعیت قوانین آن منطقه می‌باشد (۲۴). نتایج تحقیقات نشان داده است که مصرف نیتروژن موجب افزایش محتوای نیترات در سیر می‌گردد (۱۵). مصرف بی‌رویه کودهای نیتروژنه اصلی‌ترین عاملی است که موجب تجمع نیترات در تعدادی از سبزی‌ها و سایر گیاهان می‌شود (۴۶). نتایج تحقیقات موید این مطلب است که گوگرد جز ساختار آنزیم نیتریت ردوکتاز است که در کلروپلاست سلول مسئول احیای یون نیتریت و نهایتا کاهش تجمع نیترات می‌باشد (۳۴).

همبستگی نیترات سیر با نیتروژن مصرفی

نیترات سیر تحت تاثیر نیتروژن مصرفی قرار گرفت و افزایش یافت. بین صفت نیترات سیر به عنوان متغیر وابسته (Y) با نیتروژن مصرفی به عنوان متغیر مستقل (X)، همبستگی مثبت وجود داشت که از رابطه خطی ۲ با ضریب تبیین ۰/۹۹پیروی می کرد (شکل۲).

$$Y = 0.707X + 66.7 \quad \text{رابطه ۲}$$

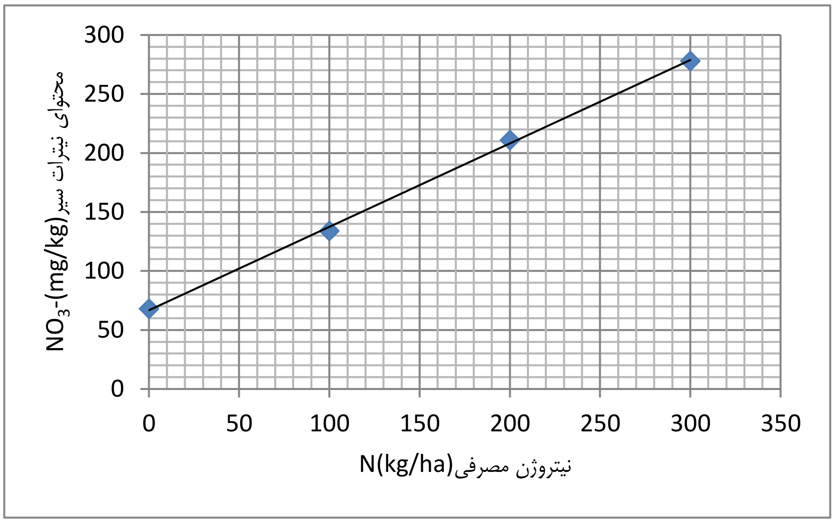
طی مطالعه‌ای در همدان، رابطه غلظت نیترات سیر و سطوح مختلف مصرف نیتروژن بررسی شد (۴۶). نتایج نشان داد که رابطه بین غلظت نیترات و مصرف نیتروژن از رابطه خطی با معادله $Y = 1.014X + 297.4$ پیروی می‌کند که در این معادله، Y متغیر وابسته غلظت نیترات بر حسب میلی‌گرم در کیلوگرم وزن تازه و X متغیر مستقل مصرف نیتروژن بر حسب کیلوگرم (N) در هکتار بود.

طی مطالعه‌ای دیگر در همدان، رابطه غلظت نیتروژن سیر و سطوح مختلف مصرف نیتروژن بررسی شد. نتایج نشان داد که رابطه بین غلظت نیتروژن و مصرف نیتروژن از رابطه خطی با معادله $Y = 0.0013x + 1.442$ پیروی می‌کند که در این معادله، Y متغیر وابسته غلظت نیتروژن بر حسب میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک و X متغیر مستقل مصرف نیتروژن بر حسب کیلوگرم (N) در هکتار بود.

غلظت فسفر برگ

اثر گوگرد بر غلظت فسفر برگ معنی‌دار بود (جدول ۴). غلظت فسفر برگ با مصرف گوگرد افزایش معنی‌دار یافت، به گونه‌ای که کاربرد ۱۰۰۰ کیلوگرم گوگرد موجب افزایش غلظت فسفر به میزان ۶۳ درصد در مقایسه با شاهد (۰/۳۳ درصد) گردید (جدول ۵). نتایج

تحقیقات نشان داده است که قابلیت جذب فسفر در خاک به شدت وابسته به واکنش خاک است و کاهش واکنش خاک منجر به افزایش قابلیت جذب فسفر خاک می‌گردد. نتایج پژوهش‌های صورت‌گرفته در خاک‌های مصر نشان می‌دهد که کاربرد گوگرد عنصری از طریق کاهش معنی‌دار واکنش خاک منجر به افزایش قابلیت جذب فسفر خاک گشته‌است (۱۴). نتایج مشابهی نیز سایر پژوهشگران گزارش شده است (۱). پژوهشگران گزارش کرده‌اند که مصرف گوگرد و تولید اسید سولفوریک در نتیجه اکسایش آن، باعث کاهش واکنش خاک و افزایش دسترسی فسفر می‌شود (۱، ۳، ۸ و ۵۷).



شکل ۲- همبستگی محتوای نیترات سیر با نیتروژن مصرفی

Figure 2- Correlation of garlic nitrate content with consumed nitrogen

غلظت آهن و روی برگ

اثر گوگرد بر غلظت آهن و روی برگ معنی‌دار بود (جدول ۴). غلظت آهن و روی برگ با مصرف گوگرد افزایش معنی‌دار یافتند، به گونه ای که کاربرد ۱۰۰۰ کیلوگرم گوگرد موجب افزایش غلظت آهن برگ به میزان ۸۸ درصد در مقایسه با تیمار شاهد (۱۰۸ میلی‌گرم در کیلوگرم) و افزایش غلظت روی برگ به میزان ۱۱۰ درصد در مقایسه با تیمار شاهد (۱۹ میلی‌گرم در کیلوگرم) گردید. مطالعات نشان داده است که اکسایش گوگرد در خاک های آهکی موجب افزایش قابلیت جذب عناصر در خاک می‌شود (۸). نتایج تحقیقات نشان داده است که قابلیت جذب آهن در خاک به‌شدت وابسته به واکنش خاک است و به ازای یک واحد کاهش واکنش، قابلیت جذب آهن خاک، هزار برابر افزایش می‌یابد (۱۴). نتایج پژوهش های صورت گرفته در خاک‌های مصر نشان می دهد که کاربرد گوگرد عنصری از طریق کاهش معنی دار واکنش خاک منجر به افزایش ۲۲۹ درصدی قابلیت جذب آهن خاک نسبت به شاهد گشته است (۱۴). نتایج مشابهی توسط سایر پژوهشگران به‌دست آمده است (۴۰). نتایج تحقیقات مشابهی نشان داد که در اثر کاربرد گوگرد عنصری، غلظت روی قابل جذب خاک ۱۶۴ درصد نسبت به شاهد (۰/۰۳ میلی‌گرم در کیلوگرم) افزایش یافت (۲۸).

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که بیشترین عملکرد سیر از مصرف ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص همراه با ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد همراه با باکتری تیوباسیلوس به‌دست می‌آید. کاربرد گوگرد موجب کاهش محتوای نیترات سیر و pH خاک گردید، ضمن آن که غلظت فسفر، آهن و روی در برگ با کاربرد گوگرد افزایش معنی‌دار یافت که نشان دهنده اثر مثبت گوگرد بر افزایش فرم قابل جذب این عناصر در خاک می‌باشد.

سپاسگزاری

این پژوهش، بخشی از نتایج پروژه تحقیقاتی با عنوان "بررسی تأثیر نیتروژن و گوگرد بر خصوصیات کمی و کیفی سیر" است. نگارنده لازم می‌داند مراتب تشکر و قدردانی خود را از مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور برای تصویب پروژه، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی برای تامین مالی پروژه و مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان تهران برای فراهم کردن امکانات اجرای پروژه اعلام نماید.

منابع

1- Abdel-Fattah A., Rasheed M.A., and Shafei A.M. 2005. Phosphorus availability as influenced by different application rates of elemental sulfur to soils. Egyptian Journal of Soil Science 45(2): 199–208.

2- Adem B.E., and Tadesse S.T. 2014. Evaluating the role of nitrogen and phosphorous on the growth performance of garlic (*Allium sativum* L.). Asian Journal of Agricultural Research 8: 211–217

3- Akhavan Z., and Fallah Nosrat Abad A.R. 2013. The effect of sulfur and Thiobacillus inoculants on soil pH, dry matter weight and phosphorus absorption canola. Journal of Soil Management for Sustainable Agriculture 3: 1-13. (In Persian with Persian abstract)

4- Aliehyaie M. 1996. Methods of chemical analysis of soil.Vol: 2, Thecnical report No: 1024, Soil and Water Research Institute, Tehran, Iran. (In Persian)

5- Aulakh M.S. 2003. Crop response to sulfur nutrition. In: Sulfur in Plants. [eds. Y.P. Abrol and A. Ahmed]. Kluwer Academic Publication Dordrecht 341-354

6- Balwan S., Duhan B.S., Yadav H.D., and Kumar V. 2006. Effect of different factors on oxidation of elemental sulfur in soils of Haryana. Haryana Agriculture University Journal Research 36: 31–34.

7- Barker A.V., and Pilbeam D.J. 2006. Handbook of plant nutrition. CRC Press. pp: 196.

8- Besharati H. 2017. Effects of sulfur application and Thiobacillus inoculation on soil nutrient availability, wheat yield and plant nutrient concentration in calcareous soils with different calcium carbonate content. Journal of Plant Nutrition 40: 447-456.

9- Chien S.H., Gearhart M.M., and Villagarcía S. 2011. Comparison of ammonium sulfate with other nitrogen and sulfur fertilizers in increasing crop production and minimizing environmental impact: a review. Soil Science 176 (7): 327-335.

10- Cui Yanshan., Dong Y.T., Li H.F., and Wang Q.G. 2004. Effect of elemental sulfur on solubility of soil heavy metals and their uptake by maize. Environment International 30(3): 323-328.

11- Delfin S., Tognetti R., Dsiderio E., and Alvino A. 2005. Effect of foliar application of N and humic acids on growth and yield of durum wheat.Agronomy of Sustainable Development 25: 183-191.

12- Diriba-Shiferaw G., Nigussie-Dechassa R., Woldetsadik K., Tabor G., and Sharma J.J. 2015. Effect of nitrogen, phosphorus, and sulfur fertilizers on growth, yield, and economic returns of garlic (*Allium Sativum* L.). African Journal of Agricultural Research 4(2): 10–22.

13- Ebrahimi M.H., Sharafzadeh M., and Bazrafshan F. 2014. The influence of nitrogen levels on growth and bulb yield of two garlic cultivars. European Journal of Experimental Biology 4(1): 270-272

14- El-Kholy A.M., Ali O.M., El-Sikhry E.M., and Mohamed A.I. 2013. Effect of sulfur application on the availability of some nutrients in Egyptian soils. Egyptian Journal of Soil Science 53(3): 361-377

15- El-Zohiri S.S.M., and Abdou Y.M. 2009. Response of garlic plants to nitrogen levels and some growth stimulant. Annals of Agricultural Science 47(3): 361-374.

16- Eriksen J. 2009. Soil sulfur cycling in temperate agricultural systems. Advance Agronomy 102: 55–89.

17- Farooqui M.A., Naruka I.S., Rathore S.S., Singh P.P., and Shaktawat R.P.S. 2009. Effect of nitrogen and sulfur levels on growth and yield of garlic (*Allium sativum* L.)". Asian Journal of Food and Agro-Industry. Special Issue.

18- Fazili I.S., Jamal A., Ahmad S., Masoodi M., Khan J.S., and Abdin M.Z. 2008. Interactive effect of sulfur and nitrogen on nitrogen accumulation and harvest in oilseed crops differing in nitrogen assimilation potential. Journal of Plant Nutrition 31(7): 1203-1220.

19- Getu S. 2015. Assessment of garlic production practices and effects of different rates of NPS fertilizer on yield and yield components of Garlic (*Allium Sativum* L.) under irrigated farming system in Yilmana Densa district, Amhara Region, Ethiopia MSc Thesis. Bahir Dar University.

20- Hammad S.A., El-Hamdi Kh. H., Abou El-Soud M.A. and El-Sanat G.M.A. 2007. Effect of some soil amendments application on the productivity of wheat and soybean, mobility and availability of nitrogen. Journal of Agriculture Science Mansoura University 32(9): 7953–7965.

21- Havlin J.L., Beaton J.D., Tisdale S.L., and Nelson W.L. 2004. Soil fertility and fertilizers. An introduction to nutrient management. 7th edn. Person Education Inc. Singapore. pp. 221

22- Hore J.K., and Chanchan M. 2003. Influence of nitrogen and sulfur nutrition on growth and yield of garlic (Allium sativum L.). Journal of Crop and Weed. 10: 14–18.

23- Hu H., Spark D., and Evan J.J. 1991. Sulfur deficiency influences vegetative growth, chlorophyll and element concentration s, and amino acids of pecan. Journal of American Society of Horticalture Science 116: 974–980.

24- Hore J.K., Ghanti S., and Chanchan M. 2014. Influence of nitrogen and sulfur nutrition on growth and yield of garlic (Allium sativum L.). Journal of Crop and Weed 10(2): 14-18.

25- Hsu J., Arcot J., and Lee A. 2009. Nitrate and nitrite quantification from cured meat and vegetables and their estimated dietary intake in Australians. Food Chemistry 115:334–339.

26- Imen A., Najjaa H., and Neffati M. 2013. Influence of sulfur fertilization on S-containing, phenolic, and carbohydrate metabolites in rosy garlic (*Allium roseum* L.): A wild edible species in North Africa. European Food Research Technology 237: 521-527.
27- Kaker A.A., Abdullahzai M.K.; Saleem M., and Qaim Shah S.A. 2002. Effect of nitro-genous fertilizer on growth and yield of garlic. Asian Journal of Plant Sciences 1(5): 544-545.
28- Karimizarchi M., Aminuddin H., Khanif M.Y., and Radziah O. 2013. Elemental sulfur oxidation rate in a Malaysian high pH soil. In: Soil Science Conference of Malaysia. K. Wan Rasidah (eds). pp. 39-43. Pahang: Malaysian Society of Soil Science.
29- Karimizarchi M., Aminuddin H., Khanif M.Y., and Radziah O. 2014. Elemental Sulfur Application Effects on Nutrient Availability and Sweet Maize (*Zea mays* L.) Response in a high pH Soil of Malaysia. Malaysian Journal of Soil Science 18: 75-86
30- Khan A.A., Zubair M., Bari A., and Maula F. 2007. Response of onion (*Allium cepa* L.) growth and yield to different levels of nitrogen and zinc in swat valley. Sarhad Journal of Agriculture 23(4): 933.
31- Khavazi K., Nougholipour F., and Malakouti M.J. 2001. Effect of Thiobacillus and phosphate solubilizing bacteria on increasing P availability from rock phosphate for corn. International Meeting on Direcct Application of Rock phosphate and related Technology. Kuala Lumpur. Malaysia.
32- Kilgore M.J., Magahi M.D., and Yakubu A.I. 2007. Productivity of two garlic (*Allium sativum* L.) cultivars as affected by different levels of nitrogen and phosphorous fertilizers in Sokoto, Nigeria. American – Eurasian Journal of Environmental Science 2(2): 158-162.
33- Klikocka H. 2011. The effect of sulfur kind and dose on content and uptake of micro-nutrients by potato tubers (*Solanum tubersosum* L.). Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus 10(2): 137-151.
34- Lindsay W.L. 1979. Chemical Equilibriums in Soils. New York. John Wiley and Sons Ltd.
35- Magray M.M., Chattoo M.A., Narayan S., and Mir S.A. 2017. Influence of Sulfur and Potassium Applications on Yield, Uptake & Economics of Production of Garlic, International Journal of Pure and Applied Bioscience 5(5): 924-934
36- Martins N., Petropoulos S., and Ferreira I.C.F.R. 2016. Chemical composition and bioactive compounds of garlic (*Allium sativum* L.) as affected by pre- and post-harvest conditions: A review. Food Chemical 211: 41-50.
37- Mashhadi Jafarlou A. 2006. Effect of Irrigation frequency and different Levels of nitrogen and sulfur on garlic Yield. Master's Thesis. Department of Soil Science. Zanjan University.
38- Mayer J.E., Pfeiffer W.H., and P Beyer. 2008. Biofortified crops to alleviate micronutrient malnutrition. Current Opinion in Plant Biology 11(2): 166-170.
39- Menesatti P., Antonucci F., Pallottino F., and Intrigliolo F. 2010. Estimation of plant nutritional status by Vis-NIR spectropHotometric analysis on orange leaves (*Citrus sinensis*). Jounal of Agricultural Engenearing Reserch 105: 448-54.
40- Mohammadi Aria M., Lakzian A., Haghnia G.H., Berenji A.R., Besharati H., and Fotovat A. 2010. Effect of Thiobacillus, sulfur and vermicompost on the water-soluble phosphorous of hard rock phosphate. Bioresource Technology 101: 551-554
41- Mostafa M.A., El-Gala A.M., Wassif M., El Maghraby S.E., and Hilal M.H. 1990. Distribation of some micronutrients through a calcareous soil columns under sulfur and saline water application. Proceedings Middle East Sulfur Symposium. 12–16 February. Cairo. Egypt. pp 263–276.
42- Motior M.R., Abdou A.S., Fareed H.A.D., and Sofian M.A. 2011. Responses of sulfur, nitrogen and irrigation water on Zea mays growth and nutrients uptake. Australian Journal of Crop Science 5(3): 347-357.
43- Mulatu A., Tesfaye B., and Getachew E. 2014. Growth and bulb yield garlic varieties affected by nitrogen and phosphorus application at Masan Worde, South Central Ethiopia. Sky Journal of Agricultural Research 3: 249–255.
44- Nasef I.N., and Elwan M.W.M. 2016. Response of Yield and Quality of Garlic to Nitrogen Sources and Foliar Spray with Sulfur Treatments. Journal of Plant Production. Mansoura University 7(12): 112-119
45- Nasreen S., Haque M.M., Hossain M.A., and Fadid A.T.M. 2007. Nutrient uptake and yield of onion as influenced by nitrogen and sulfur fertilization. Bangladesh Journal of Agricultural Research. 32(3): 413-420.
46- Nouri M., and Bayat F. 2016. Changes in Vegetative Growth Indicators and Garlic Performance in Nitrogen Fertilizer Sources and Levels. Two Seasons Letters of vegetables. Ilam University.
47- Pavlou G.C., and Ehaliotis C. 2007. Effect of organic and inorganic fertilizers applied during successive crop season on growth and nitrite accumulation in lettuce. Scientia Horticulturae 111(4): 319-325.
48- Safaa M M., Khaled S.M., and Hanan S. 2013. Effect of elemental sulfur on solubility of soil nutrients and soil heavy metals and their uptake by maize plants. Journal of American Science 9(12): 19-24.
49- Salimpour S., Khavazi K., Nadian H., Besharati H., and Miransari M. 2010. Enhancing phosphorus availability to canola (*Brassica napus* L.) using P solubilizing and sulfur oxidizing bacteria. Australian Journal of Crop Science 4: 330-334.
50- Salimpour S., Khavazi K., Nadian H., Besharati H., and Miransari M. 2012. Canola oil production and nutrient

uptake as affected by phosphate solubilizing and sulfur oxidizing bacteria. Journal of Plant Nutrition 35: 1997-2008.

51- Sameni A.M., and Kasraian A. 2004. Effect of agricultural sulfur on characteristics of different calcareous soils from dry regions of Iran. I. Disintegration rate of agricultural sulfur and its effects on chemical properties of the soils. Communications in Soil Science and Plant Analysis 35(9-10): 1219-1234.

52- Sebnie W., Mengesha M., Girmay G., and Tesfaye Feyisa T. 2018. Response of garlic (*Allium sativum* L.) to nitrogen and phosphorus under irrigation in Lasta district of Amhara Region, Ethiopia. Cogent Food and Agriculture 4: 1532862

53- Skwierawska M., Zawartka L., Skwierawski A., and Nogalska A. 2012. The effect of different sulfur doses and forms on changes of soil heavy metals. Plant, Soil and Environment 58:135-140.

54- Susana C.B., Johannes L., Dawit S., Eduardo F.C., and Luís R.F.A. 2013 Sulfur forms in organic substrates affecting S mineralization in soil. Geoderma 156–164.

55- Vidyalakshmi R., Paranthaman R., and Bhakyaraj R. 2009. Sulfur oxidizing bacteria and pulse nutrition-A review. World Journal of Agricultural Sciences 5(3): 270-278

56- Ye R., Wright A.L., and McCray J.M. 2011. Seasonal changes in nutrient availability for sulfur -amended everglades soils under sugarcane. Journal of Plant Nutrition 34(14): 2095-2113.

57- Zaki H.E.M., Toney H.S.H., and Abd Elraouf R.M. 2014. Response of two garlic cultivars (*Allium sativum* L.) to inorganic and organic fertilization. Nature and Science 12(10): 52-60.

58- Zapata F., and Roy R.N. 2004. Use of phosphate rocks for sustainable agriculture. Publication of the FAO Land and Water Development Division 117-122.

59- Zhou Y., Haneklaus S., Singh B.R., and Schnug E. 2008. Effect of repeated applications of elemental sulfur on microbial population, sulfate concentration, and pH in soils. Communications in Soil Science and Plant Analysis 39: 124–140.

Journal of Horticultural Science
Vol. 34, No.4, Winter 2021, P. 563-576
ISSN: 2008 - 4730

نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۴، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۹، ص. ۵۷۶-۵۶۳
شاپا: ۴۷۳۰ - ۲۰۰۸

Nitrogen and Sulfur with Thiobacillus Bacteria Effects on Garlic Yield and Garlic Nitrate Content and some Nutrients Availability in Soil

M. Seilsepour[1]*
Received: 29-05-2019
Accepted: 13-07-2020

Introduction: Garlic (*Allium sativum* L) is the second most commonly used herb of alliums after onions. This plant has significant effects on lowering blood pressure, preventing atherosclerosis, reducing blood cholesterol and triglyceride and inhibiting platelet aggregation. In recent years, the increase in the yield of this product has been of interest to manufacturers of this product with respect to the preservation of qualitative characteristics, including the maximum content of nitrate. It has been shown that the absorption of nutrients in the soil affects the yield and yield components of the plant. In this regard, the timely and adequate supply of nutrients such as sulfur and nitrogen has a special role in promoting quantitative and qualitative characteristics of garlic.

Material and Methods: In order to study the effects of nitrogen and sulfur consumption on quantitative and qualitative traits of garlic, this study was conducted with 12 treatments and three replications in the form of a split plot design in two years in Agricultural Research Center of Agricultural and Natural Resources of Tehran Province which located in Varamin in Iran. Nitrogen factor was considered at four levels (0, 100, 200 and 300 kg ha^{-1}) and sulfur at three levels (0, 500 and 1000 kg ha^{-1} with inoculation of Thiobacillus). Before planting, soil samples were taken from the experimental site and physical and chemical characteristics including texture, reaction, organic carbon, lime, nitrogen, phosphorus and potassium, and iron, manganese, copper, zinc and boron were measured. Dry matter yield, number of bulbs per garlic, single plant weight, garlic weight, plant height, leaf number per plant and leaf area were recorded at the end of experiment. Garlic nitrate content and nutrient concentration in garlic leaves were also measured. Data obtained were analyzed statistically using SAS software.

Results and Discussion: The effects of nitrogen and sulfur on the yield of garlic cloves, number of bulbs in cloves, cloves weights, bulbs weights, plant height, leaf area and bulb nitrate were significant as all these traits were improved. Application of 1000 $kg.ha^{-1}$ of sulfur increased the garlic cloves yield by 31% compared to the control. Nitrogen consumption up to 200 $kg.ha^{-1}$ increased garlic cloves yield by 58% compared to the control. The highest economic yield of garlic cloves was obtained by 1000 $kg.ha^{-1}$ sulfur and 200 $kg.ha^{-1}$ nitrogen, which was 104% more than control treatment.

Data also showed that the effects of sulfur and nitrogen and the interaction of sulfur and nitrogen on the leaf area of the garlic plant were significant. Consumption of 1000 $kg.ha^{-1}$of sulfur increased the leaf area of the garlic plant by 42% compared to the control. Nitrogen consumption up to 200 $kg.ha^{-1}$ increased the leaf area of garlic plant by 39.3% compared to the control. The highest leaf area of garlic plant was obtained from 1000 $kg.ha^{-1}$sulfur and 200 $kg.ha^{-1}$nitrogen, which was 104% higher than control. Increase of the growth and yield of garlic was attributed to the main role of nitrogen in increasing meristematic activity, cell division, prolongation of the cell. Sulfur is one of the essential nutrients of the plant, and without sulfur, the plant does not grow and function properly. Sulfur is the fourth essential element after nitrogen, potassium and phosphorus for garlic. This element is needed in production of amine acids, such as methionine and cysteine, which are essential for the production of vitamin A, and the activation of certain enzymes. The results of studies have shown that amino acids directly or indirectly affect the physiological activity of the plant, and positively affect the growth, increase in yield and increase plant tolerance to environmental stresses. The soil reaction was affected by sulfur consumption and decreased. There was a negative correlation between soil reaction as a dependent variable (Y) and consumed sulfur as an independent variable (X), which correlated with linear relation with correlation coefficient of 0.98. Data showed that use of 1000 $kg.ha^{-1}$of sulfur reduced soil reaction from 7.49 to 7.26 and increased leaf iron concentration by 88% compared to control and increased leaf zinc concentration 110% compared to control treatment. The researchers believe that sulfur oxidation and sulfuric acid production in the soil reduce soil reactions and increase the absorption capacity of phosphorus and microelements. The effect of sulfur on the concentration of leaf phosphorus was significant. The phosphorus concentration was increased

1- Assistant Professor, Greenhouse Cultivation Research Department, Tehran Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Varamin, Iran
(*- Corresponding Author Email: mseilsep@yahoo.com)
DOI: 10.22067/jhorts4.v34i4.80398

significantly with sulfur application into the soil, so that 1,000 $kg.ha^{-1}$ of sulfur increased the concentration of leaf phosphorus by 63% compared with the control (0.33%). Research results have shown that phosphorus absorption capacity in soil is highly dependent on soil reaction and reducing soil reaction leads to increased phosphorus absorption capacity. Researchers have reported that sulfur consumption and the production of sulfuric acid, as a result of its oxidation, reduce soil reaction and increase phosphorus availability for plants. The effect of nitrogen, sulfur and the interaction of nitrogen and sulfur on the content of garlic nitrate was significant. Garlic nitrate content decreased with application of sulfur and increased with nitrogen addition. Application of sulfur at 1000 $kg.ha^{-1}$ significantly reduced garlic nitrate content by 35% compared to control. The application of 100, 200 and 300 $kg.ha^{-1}$ of nitrogen increased the content of garlic nitrate 97, 210 and 308%, respectively in comparison to control. At all levels of nitrogen addition, sulfur consumption reduced the content of garlic nitrate. Garlic nitrate content decreased with application of sulfur and increased with nitrogen addition. Sulfur application at 1000 $mg.kg^{-1}$ significantly reduced garlic nitrate content by 35% compared to control ($mg.kg^{-1}$). Garlic nitrate was increased by the amount of nitrogen consumed. There was a positive correlation between garlic nitrate (Y) as a dependent variable (N) and independent nitrogen (X), which correlated with linear relation with the correlation coefficient of 0.99. Researchers have argued that excessive consumption of nitrogen fertilizers is the main factor causing the accumulation of nitrate in a number of vegetables and other plants such as garlic.

Conclusion: Based on the results of the experiment, it was concluded that nitrogen and sulfur increase the yield of garlic. Meanwhile, sulfur reduces nitrate accumulation in garlic. Sulfur consumption reduces soil pH and increases the absorption availability of micronutrients and phosphorus in the soil and causes more absorption of these elements by the plant.

Keywords: Garlic, Nitrate, Nitrogen, Soil Fe, Sulfur